

Sensor LiDAR (*Light detection and ranging*) para obtenção de modelos tridimensionais de culturas de porte arbóreo

André Freitas Colaço¹, Rodrigo Gonçalves Trevisan¹, Mateus Tonini Eitelwein¹, José Paulo Molin¹

¹ Departamento de Engenharia de Biosistemas, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil, andre.colaco@usp.br, rodrigo.trevisan@usp.br, mateus_eitelwein@usp.br, jpmolin@usp.br

RESUMO

O conhecimento sobre a estrutura e geometria das copas em culturas de porte arbóreo é importante para a pesquisa e para as práticas agronômicas como o uso de fertilizantes e agroquímicos. Os sensores a laser de tecnologia LiDAR são capazes de fornecer dados para a reconstrução dos alvos em modelos tridimensionais. O presente trabalho apresenta uma metodologia para coletar dados com sensor LiDAR e gerar modelos tridimensionais em culturas de porte arbóreo. O sistema de coleta é composto por um sensor LiDAR, um receptor GNSS, um computador portátil e um veículo. Ao longo das leituras, o sensor emite um feixe de luz laser em diferentes direções e o sistema registra a posição dos pontos atingidos pelo laser. O conjunto de dados pode ser inserido em um sistema tridimensional formando uma nuvem de pontos. A visualização dos pontos oriundos de uma leitura realizada em um pomar citrícola evidenciou a capacidade de representação das plantas pela metodologia proposta. A conformação das fileiras e das plantas individualmente pode ser acessada a partir do modelo, permitindo o cálculo de parâmetros geométricos importantes para a condução do pomar.

PALAVRAS-CHAVE: Geometria de Plantas, Volume de Copa, Agricultura de Precisão.

ABSTRACT

In tree crops it is important to know about the structures and geometries of canopies for research and agricultural practices such as fertilizer and pesticides applications. LiDAR sensors are able to provide data for the reconstruction of objects in tridimensional models. The present study shows a method to collect data with a LiDAR sensor and generate tridimensional models of tree crops. The system consists of a LiDAR sensor, a GNSS receiver, a computer and a vehicle. The sensor emits a laser beam in different directions and the system registers the position of the points reached by the laser. This data set can be

viewed in a tridimensional plot forming a point cloud. The point cloud from a citrus field scanned with this system shows how the model is able to represent the plants. Each tree line and single trees can be assessed from the model allowing the calculation of important geometry parameters of the crop.

KEYWORDS: Plant Geometry, Canopy Volume, Precision Agriculture

INTRODUÇÃO

Uma abordagem recente para aquisição de dados de culturas é o sensoriamento proximal por meio dos mais diversos tipos de sensores, medindo direta ou (normalmente) indiretamente diferentes parâmetros agrônômicos. Tal tecnologia tem um apelo maior na agricultura de precisão (AP), por permitir a coleta de uma grande quantidade de dados dentro de um mesmo campo de produção. Dessa forma, o gestor de uma área conduzida sob os preceitos da AP é capaz de direcionar e diferenciar tratamentos agrônômicos em uma escala muito menor do que aquela permitida na gestão convencional.

Uma das ferramentas disponíveis para a obtenção de informações remotas dos alvos são os sensores de tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*). Tais sensores são capazes de estimar a distância dos objetos ao seu redor em diversas direções (em duas ou três dimensões). O equipamento emite um feixe de luz laser que atinge um obstáculo e retorna ao sensor. A distância entre o sensor e o alvo é proporcional ao tempo entre a emissão e recepção da luz pelo sensor. Essa tecnologia se disseminou para aplicações industriais e robóticas e recentemente tem sido investigada para agricultura.

Diversos estudos têm empregado o uso desses sensores na obtenção de informações acerca da geometria da parte aérea de diferentes culturas (DWORAK; SELBECK; EHLERT, 2011, ROSELL; SANZ, 2012) por meio do processamento dos dados brutos de direção relativa e distância até os alvos. Em culturas de porte arbóreo, o conhecimento sobre o tamanho, forma e parâmetros geométricos como volume e área superficial das copas é de extrema importância. Tais informações são úteis tanto na pesquisa agrônômica (STENZEL et al., 2005, AULER; FIORI-TUTIDA; TAZIMA, 2008), pois são parâmetros relacionados ao desenvolvimento da cultura, como em práticas de manejo, por exemplo, para o cálculo da quantidade de insumo que a planta demanda.

Os métodos usuais para o levantamento de tais parâmetros são normalmente baseados em medições manuais realizadas com trena ou régua. Por exemplo, o volume de copa de uma planta cítrica pode ser dado como dois terços do volume de um cilindro envolvente à planta (MENDEL, 1956), e para tanto basta a medição da altura e raio da copa. Além da

simplificação no próprio cálculo, tais medições são naturalmente imprecisas, dado a irregularidade da copa e dificuldade da medição com instrumentos simples como réguas ou trenas. Isso justifica a busca por métodos e ferramentas mais eficientes para a obtenção dos parâmetros geométricos dessas culturas. Além disso, com o recente avanço das técnicas de AP para as mais diversas culturas, inclusive para a fruticultura, é cada vez maior a necessidade de sensores capazes de coletar informações relevantes à gestão agrônômica em grande quantidade e com máxima exatidão.

O objetivo deste trabalho é apresentar um método para coletar dados com sensor LiDAR e obter um modelo tridimensional digital de culturas com porte arbóreo. Tal modelo deve permitir a obtenção de parâmetros geométricos da cultura com exatidão e quantidade suficientes para aplicações em AP como, por exemplo, o tratamento individual de plantas com base no tamanho e conformação das copas.

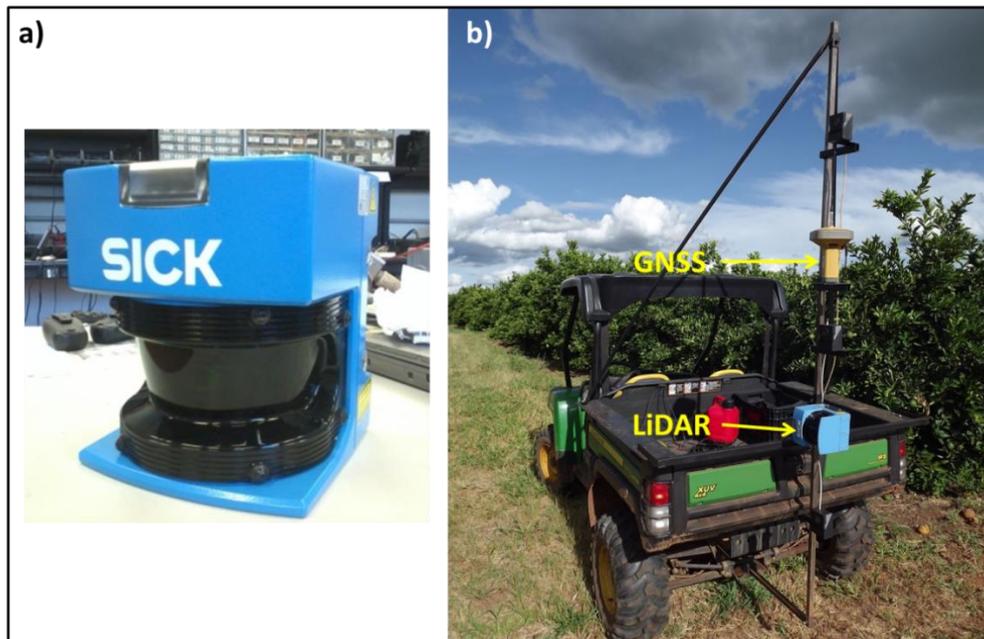
MATERIAL E MÉTODOS

Equipamentos

A coleta de dados é realizada por meio de um sensor LiDAR, um receptor GNSS (*Global Navigation Satellite System*) com correção RTK (*Real Time Kinematic*), um computador portátil e um veículo de campo para deslocar os equipamentos. Os modelos dos equipamentos utilizados no presente estudo foram, respectivamente, um sensor LMS 200, SICK, um receptor GR3, Topcon, um computador Toughbook CF-19, Panasonic e um veículo Gator XUV855D, John Deere, com um suporte metálico customizado para acoplar o sensor e receptor GNSS (Figura 1).

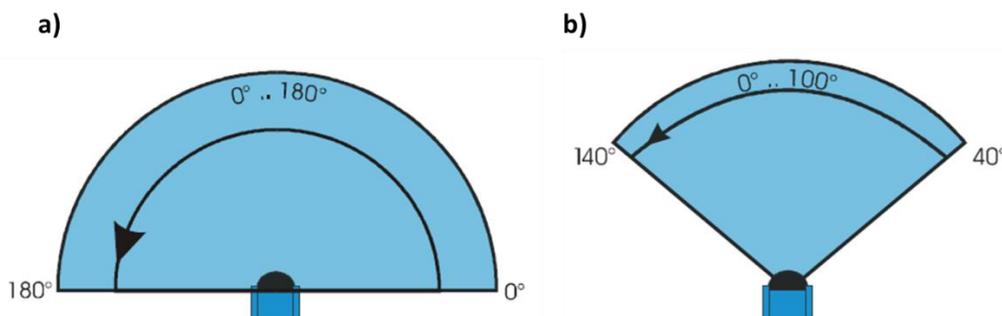
O sensor utilizado coleta dados de distância em diferentes direções em um plano bidimensional. O feixe laser é direcionado pela rotação de um espelho no interior do instrumento permitindo uma taxa máxima de aquisição de dados de 75 Hz. O sensor realiza leituras em uma amplitude máxima de 180° e resolução angular máxima de 0,25°, com alcance máximo de 80 m. No presente estudo adotou-se uma amplitude de 100° (de 40° a 140°) com resolução angular de 1° (totalizando 101 ângulos) (Figura 2), alcance máximo de 8 m com resolução das distâncias em milímetros. O erro de cada medição é de +- 5 mm.

Figura 1 – LMS-200, SICK (a); sensor LiDAR e receptor GNSS acoplados em um veículo de campo (b).



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 2 – Visão superior do sensor; amplitude de 180° (a) e 140° (b).

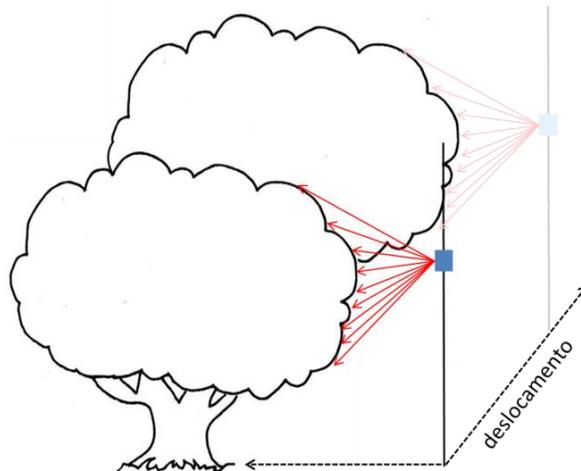


Fonte: Manual LMS-200, SICK.

Aquisição dos dados

No arranjo proposto, o sensor é posicionado para realizar medições em um plano vertical visando a lateral das plantas (Figura 3). Com o veículo em movimento, múltiplas leituras são registradas, cada uma representando uma sessão transversal ao sentido de deslocamento. Os dados obtidos em cada sessão são georreferenciados pelo receptor GNSS que está instalado acima e alinhado com o sensor LiDAR. O total de medidas em sessões transversais forma então um conjunto de dados tridimensional.

Figura 3 – Arranjo do sensor visando a lateral da planta.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Os dados do sensor e do receptor GNSS são enviados para o computador, que por meio de um software realiza a interface e sincronização dos equipamentos e o registro dos dados. O software foi desenvolvido em linguagem JAVA, no ambiente Processing (FRY; REAS, 2014). Os dados brutos da aquisição compõe um arquivo de texto com os valores de tempo, coordenadas geográficas, altitude, e distância em cada ângulo de medição (Figura 4).

Figura 4 – Exemplo de dados brutos obtidos pelas leituras do receptor GNSS e sensor LiDAR.

Tempo	Latitude	Longitude	Alt (m)	A40 A41 A42 A43 A44 A45 A46 A47 A48 A49 A50 A51 A52 ...													
				(mm)													
150127173638589	-22.833660316	-49.127970846	640.22	1483	1506	1521	1540	1577	1601	1627	1666	1700	1725	1763	1802	1846	...
150127173638676	-22.833660218	-49.127970296	640.22	1490	1518	1545	1545	1574	1572	1633	1666	1697	1732	1759	1810	1856	...
150127173638711	-22.833660189	-49.127970139	640.22	1499	1500	1519	1558	1590	1619	1643	1655	1688	1744	1792	1826	1864	...
150127173638799	-22.833660094	-49.127969738	640.22	1472	1520	1554	1569	1611	1637	1650	1687	1708	1754	1795	1831	1872	...
150127173638856	-22.833659999	-49.127969337	640.22	1513	1536	1558	1575	1618	1635	1659	1682	1691	1773	1807	1845	1875	...
150127173638938	-22.833659897	-49.127969035	640.22	1526	1543	1549	1605	1617	1631	1667	1710	1762	1787	1809	1856	1892	...
150127173638995	-22.833659744	-49.127968582	640.23	1548	1564	1565	1601	1614	1652	1682	1722	1768	1780	1816	1864	1892	...
150127173639052	-22.833659554	-49.127967707	640.24	1546	1585	1607	1620	1637	1623	1609	1709	1773	1797	1858	1839	1924	...
150127173639132	-22.833659363	-49.127967052	640.25	1506	1570	1560	1634	1662	1636	1709	1742	1800	1840	1831	1823	1930	...
150127173639185	-22.833659299	-49.127966833	640.26	1530	1550	1635	1638	1662	1686	1720	1759	1747	1840	1849	1858	1928	...
150127173639271	-22.833659108	-49.127965840	640.28	1599	1618	1648	1674	1716	1736	1747	1812	1826	1850	1902	1870	1977	...
150127173639328	-22.833658918	-49.127965118	640.29	1583	1557	1626	1646	1685	1689	1653	1814	1838	1815	1845	1959	1992	...
150127173639385	-22.833658854	-49.127964878	640.29	1565	1595	1607	1656	1642	1720	1722	1774	1828	1874	1899	1917	1993	...
150127173639467	-22.833658600	-49.127963742	640.32	1515	1588	1572	1677	1677	1667	1714	1701	1838	1838	1891	1927	1940	...
150127173639528	-22.833658361	-49.127962901	640.33	1584	1635	1646	1669	1695	1716	1763	1808	1797	1850	1888	1911	1920	...
...

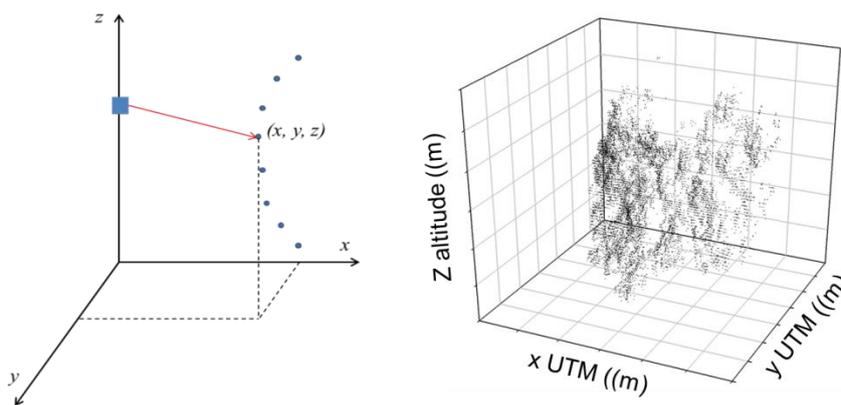
Fonte: Elaborada pelos autores.

Processamento dos dados e visualização 3D

O primeiro passo do processamento é transformar os dados brutos de ângulos e distâncias (coordenadas polares) em coordenadas retangulares para que os pontos atingidos pelo laser sejam plotados em um sistema cartesiano tridimensional (x, y, z), formando assim uma

“nuvem de pontos” (Figura 5). Inicialmente o sensor representa a posição 0, 0 nos eixos x e y (Figura 5, esquerda). Em seguida as coordenadas são recalculadas utilizando-se como referência as coordenadas e altitude obtidas pelo receptor GNSS na posição em que está o sensor LiDAR (Figura 5, direita). A coordenada de cada ponto da nuvem pode ser calculada por meio de relações trigonométricas;—Ddenominamos aqui esse processo como georreferenciamento da nuvem de pontos. O produto final da transformação é, portanto, uma “nuvem de pontos” na qual cada ponto tem a sua coordenada real no sistema de referência de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM).

Figura 5 – Plotagem dos pontos em um plano cartesiano tridimensional.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Um algoritmo para tal processamento foi desenvolvido por meio do software R (R CORE TEAM, 2015). O arquivo final é gerado no formato de texto contendo três colunas (x , y , z) e múltiplas linhas, cada uma representando um ponto.

Os arquivos de coordenadas cartesianas dos pontos (x , y , z) são importados no software Cloudcompare (GIRARDEAU-MONTAUT, 2014), onde a nuvem de pontos pode ser visualizada e editada.

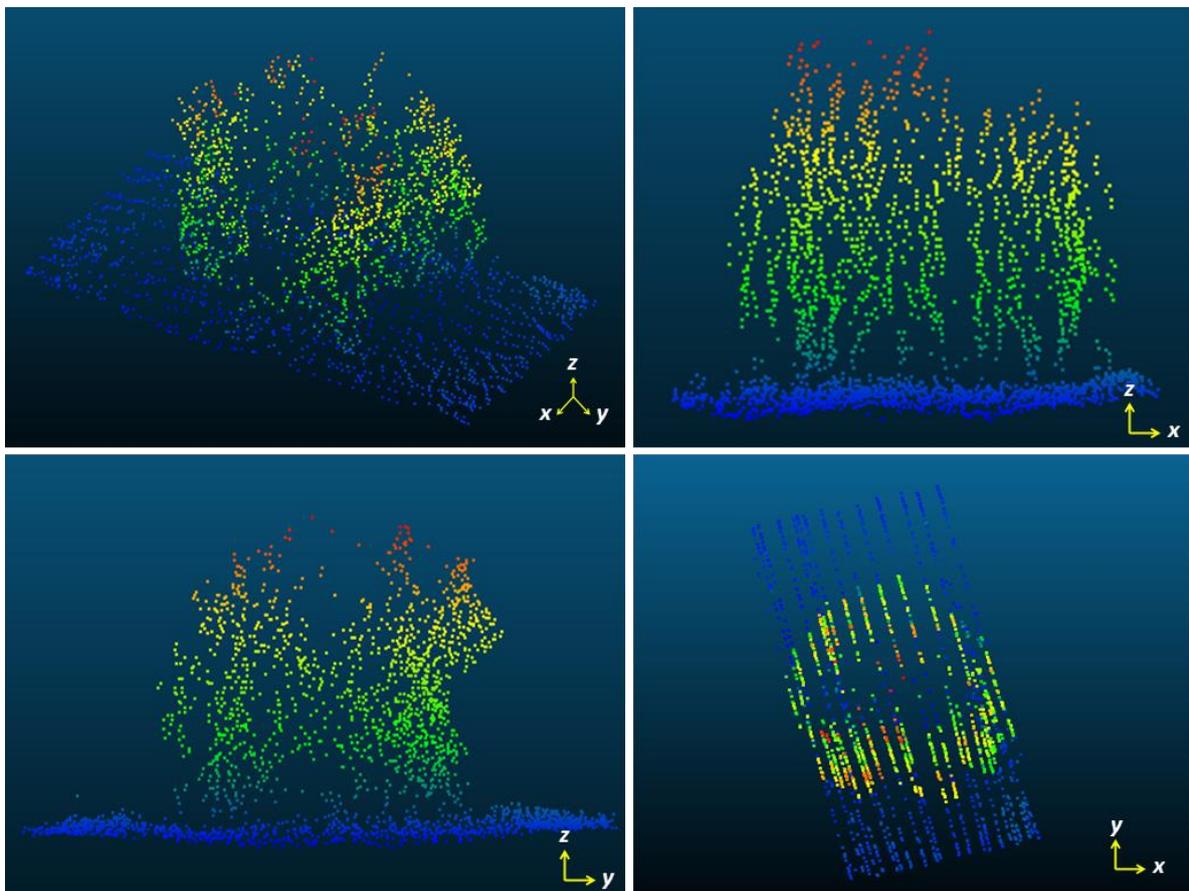
Leituras a campo

As leituras foram realizadas em um pomar de 25 ha com laranjeiras da variedade Valência com seis anos de idade. O talhão apresenta formato quadrado com plantio em linhas retas paralelas à borda. O espaçamento entre plantas foi de 2,7 m entre plantas e 6,8 m entre fileiras. A velocidade de deslocamento foi de aproximadamente $2,7 \text{ m s}^{-1}$ e a frequência de aquisição de 14 Hz (aproximadamente 14 sessões transversais por planta). As leituras de cada fileira de plantas foram realizadas com duas passadas do veículo, uma de cada lado da fileira.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 6, pode ser visualizada uma nuvem de pontos referente a uma laranjeira. Esse conjunto de dados é formado por 2.256 pontos, sendo que aproximadamente 50% dos mesmos representam o solo. O deslocamento ocorreu ao longo do eixo x . Nas imagens inferiores da figura nota-se a junção das leituras realizadas em duas passadas. A concordância entre os dois lados da planta se dá devido ao georreferenciamento das leituras, que permite que duas medições realizadas de pontos distintos possam ser plotadas no mesmo sistema de referência. A partir dos pontos é possível aplicar cálculos geométricos para obtenção da altura, volume e área superficial da copa, por exemplo.

Figura 6 – Nuvem de pontos de uma laranjeira obtida por meio de leituras de sensor LiDAR. A coloração indica variação ao longo do eixo z (altitude).

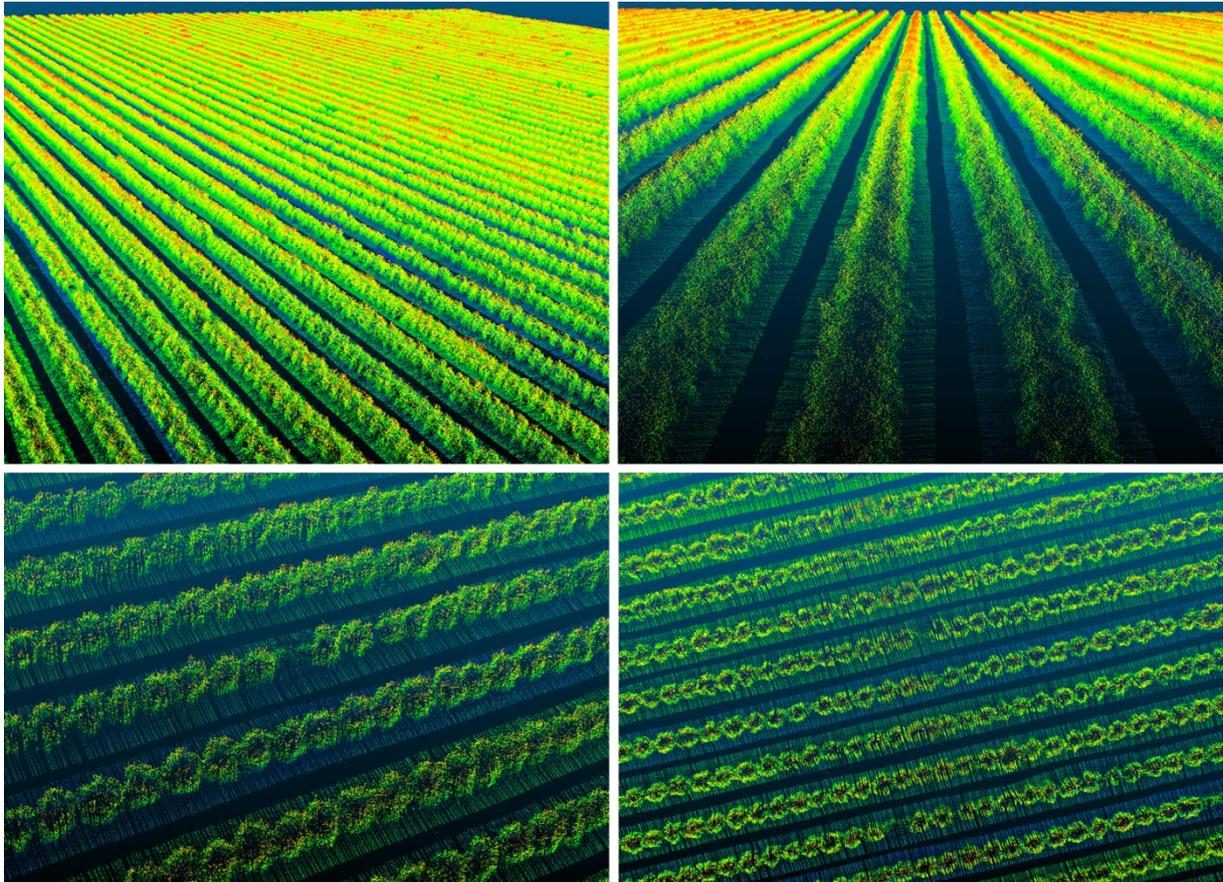


A figura 7 apresenta uma série de imagens de uma nuvem de pontos obtida em um talhão de 25 ha de laranjeiras. Em cada fileira de plantas foram contabilizados aproximadamente 400.000 pontos. Nota-se que tal densidade de pontos é capaz de reproduzir o formato das fileiras ao longo do talhão. Nas imagens inferiores é possível visualizar as

plantas individualmente, o que permite a observação da variação no porte das plantas e também da existência de falhas ao longo da área.

Tais informações podem servir de subsídio para avaliação da população de plantas e desenvolvimento vegetativo. Considerando a variação existente no porte das plantas, em aplicações voltadas à AP, é possível adotar-se doses variadas de insumos para cada planta.

Figura 7 – Nuvem de pontos obtida por um sensor LiDAR em um pomar de laranjeiras de 25 ha. A coloração indica variação ao longo do eixo z (altitude).



CONCLUSÕES

As informações obtidas pelo sensor LiDAR, a partir da metodologia proposta, permite a geração de modelos tridimensionais que representam a estrutura da parte aérea em plantas de porte arbóreo. Tais modelos fornecem subsídio para o cálculo de parâmetros geométricos importantes para a condução da cultura, inclusive para aplicações em agricultura de precisão como a aplicação de insumos em taxas variáveis.

REFERÊNCIAS

AULER, P. A. M.; FIORI-TUTIDA, A. C. G.; TAZIMA, Z. H. Comportamento da laranjeira “Valência” sobre seis porta-enxertos no noroeste do Paraná. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 30, n. 1, p. 229–234, 2008.

DWORAK, V.; SELBECK, J.; EHLERT, D. Ranging sensors for vehicle-based measurement of crop stand and orchard parameters: a review. *Transactions Of The Asabe*, v. 54, n. 4, p. 1497–1510, 2011.

FRY, B.; REAS, C. *Processing Library for Visual Arts and Design*, 2014.

GIRARDEAU-MONTAUT, D. *CloudCompare: 3D Point Cloud and Mesh Processing Software*. 2014.

MENDEL, K. Rootstock-scion relationships in Shamouti trees on light soil. *Ktavim*, v.6, p.35-60, 1956.

R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2015.

ROSELL, J. R.; SANZ, R. A review of methods and applications of the geometric characterization of tree crops in agricultural activities. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 81, p. 124–141, fev. 2012.

STENZEL, N. M. C. et al. Desenvolvimento vegetativo, produção e qualidade dos frutos da laranjeira ‘Folha Murcha’ sobre seis porta-enxertos no Norte do Paraná. *Ciência Rural*, v. 35, n. 6, p. 1281–1286, 2005.